

На правах рукописи



ГИЛЬМАНШИН Искандер Рафаилович

**ЦЕНТРАЛИЗОВАННАЯ СИСТЕМА
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЧЕТА И КОНТРОЛЯ
БЫТОВОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ**

05.11.16 – Информационно-измерительные и управляющие системы

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Казань – 2010

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования
Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева

Научный руководитель: кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
Ференец Андрей Валентинович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Шарнин Леонид Михайлович

доктор физико-математических наук, профессор
Кирпичников Александр Петрович

Ведущая организация: Центр энергоэффективных технологий
Государственного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
Ивановский государственный энергетический
университет

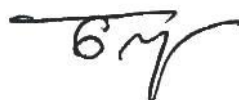
Защита состоится «20» декабря 2010г. в 15 часов на заседании диссертационного совета Д 212.079.06 при ГОУ ВПО «Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева» по адресу: 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ГОУ ВПО «Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева».

Электронный вариант автореферата размещен на сайте ГОУ ВПО «Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева» www.kai.ru.

Автореферат разослан «___» ноября 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



Бердников А.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Исследование научной проблемы в области организации коммерческого учета бытового потребления энергоносителей относится к приоритетным направлениям развития науки, техники и технологий, утвержденным Президентом Российской Федерации (№ Пр-577 от 30.03.2002).

Энергосбережение, энергоэффективность стали ключевыми составляющими стратегии социально-экономического развития России. Потребление энергоресурсов с каждым годом растет, а объемы вновь разведанных полезных ископаемых заметно меньше прироста потребления. В недалеком будущем встанет вопрос дефицита энергоресурсов. Для дальнейшей реализации государственной политики энергоресурсосбережения принята целевая программа «Энергоресурсоэффективность в Республике Татарстан на 2006 – 2010 годы». Реализация Программы предполагает учет потребления энергоносителей на всех уровнях народного хозяйства. Если раньше совокупный объем энергопотребления в бытовом секторе был в разы меньше промышленного, то сегодня эта пропорция претерпела значительные изменения, и проблема выявления сверхнормативных потерь в жилищно-коммунальном хозяйстве стала важной составляющей программы энергоресурсосбережения. Для энергосбережения в жилищно-коммунальном хозяйстве (ЖКХ), согласно отечественной (В.Ельцов и др.) и зарубежной практике (В.В.Тубинис и др.), явно не достаточно только регулирование тарифов. Анализируя опыт работы отечественных и зарубежных энергоснабжающих организаций, где доля бытового сектора в общем объеме потребителей превышает 20%, специалистами (А.В.Артемьев, А.Л.Гуртовцев, Ю.С.Железко, Л.К.Осика, О.В.Савченко и др.) обоснована необходимость принятия комплексных мер, направленных на повышение энергосбережения. Важнейшей составляющей энергосберегающих мероприятий и мониторинговой информации (учетной, измерительной) по снижению энергетических издержек в городском хозяйстве является учет и контроль поквартирного потребления энергоносителей.

Анализ внедрений и разработок систем сбора жилищно-коммунальной информации (работы Э.Н.Журавлева, О.Мариничевой и др.) показал актуальность разработки структуры системы, позволяющей снизить затраты по потреблению энергоносителей, повысить качество предоставляемых услуг, обеспечить объективность отношений поставщик-потребитель. Все это обуславливает необходимость исследований в области бытового потребления энергоносителей с акцентом на энергосбережение за счет осуществления централизованного автоматизированного сбора, контроля и анализа жилищно-коммунальной информации по всем основным энергоносителям (электроэнергии, газу, теплу, холодной и горячей воде) и интеграции

локальных информационных систем различной конфигурации и назначения. В условиях высокого износа основных фондов ЖКХ (по данным Министерства регионального развития РФ износ сетей водопровода, тепловых и электрических сетей, котельных составляет 60–70%) актуальны инновационные разработки по расширению функций системы в направлении обеспечения энергосбережения и безопасности (своевременное распознавание и минимизация ущерба от сверхнормативных потерь). С целью защиты окружающей среды востребована возможность модернизации системы по числу и роду контролируемых параметров (в том числе по решению задач охранной и противопожарной сигнализации).

Исследования и разработки по созданию системы учета жилищно-коммунальной информации проводились в научно-исследовательской лаборатории «Измерительные преобразователи» КГТУ им. А.Н. Туполева начиная с 1993 года под руководством профессора В.А. Ференца. С 1996 года в сотрудничестве с Департаментом жилищно-коммунального хозяйства г. Казани, были сформулированы основные подходы к созданию системы в целом и ее элементов (счетчиков энергоносителей). Получено 7 патентов на изобретения, в том числе на «Устройство контроля жилищно-коммунальной информации» (Патент №2141626 приоритет от 14.07.97).

Объектом исследования является процесс централизованного информационно-аналитического автоматизированного сбора и обработки данных о бытовом расходе энергоносителей, а **предметом исследования** – алгоритмы управления и динамика сложной распределенной многоуровневой централизованной системы автоматизированного учета и контроля бытового потребления энергоносителей с функцией энергосбережения (своевременного распознавания и минимизации ущерба от сверхнормативных потерь).

Цель исследования - энергосбережение и повышение достоверности контроля качества услуг в жилищно-коммунальном хозяйстве за счет полноты и оперативности информационного обеспечения нормативного и сверхнормативного потребления абонентами электроэнергии, газа, тепла, холодной и горячей воды.

Задача исследования - разработка принципов построения, методик синтеза и моделирования централизованной системы автоматизированного учета и контроля бытового потребления энергоносителей с функцией раннего выявления сверхнормативных потерь (энергосбережения) и возможностью интеграции локальных информационных систем различной конфигурации и назначения.

Поставленная задача научного исследования решается в следующих направлениях:

1. Анализ и оценка существующих систем автоматизированного сбора и контроля жилищно-коммунальной информации и разработка математической модели сложной распределенной многоуровневой информационно-

измерительной системы, позволяющей интегрировать локальные информационные системы различной конфигурации и назначения.

2. Разработка и исследование принципов построения, структуры и методики синтеза централизованной системы автоматизированного учета и контроля бытового потребления энергоносителей.

3. Обоснование подхода к выбору метода математического моделирования многовариантной распределенной информационной системы рассматриваемого вида, обеспечивающего учет основных особенностей ее функционирования, в том числе, задач управления системой. Разработка принципов и методики моделирования централизованной системы автоматизированного учета и контроля бытового потребления энергоносителей с функцией выявления сверхнормативных потерь (энергосбережения) как сложной распределенной информационной системы.

4. Разработка и исследование математической модели модуля раннего выявления сверхнормативных потерь как важной составляющей системы учета, контроля и энергосбережения. Разработка инженерной методики оценки вероятности получения достоверных данных с учетом характеристик надежности оборудования и вероятности возникновения внештатных ситуаций (сверхнормативных потерь).

5. Разработка и апробация программного комплекса централизованной системы, создание имитационной модели, позволяющей исследовать особенности ее функционирования при заданной размерности и конфигурации.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Предложены принципы построения и научно обоснованная структура централизованной системы, обеспечивающей автоматизированный учет и всесторонний контроль бытового потребления энергоносителей, в том числе, раннее выявление сверхнормативных потерь и возможность интеграции локальных информационных систем различной конфигурации и назначения.

2. Обоснован выбор и доказана эффективность применения математического аппарата модифицированных сетей Петри для моделирования информационно-измерительных систем учета и контроля потребления энергоносителей в сфере жилищно-коммунального хозяйства.

3. Предложены новые принципы моделирования и методика синтеза централизованной многовариантной распределенной системы учета и контроля бытового потребления энергоносителей на основе представления информационного обмена как последовательно-паралельного дискретно-непрерывного процесса.

4. Разработана и исследована имитационная модель централизованной системы учета и контроля бытового потребления энергоносителей на основе математического аппарата модифицированных сетей Петри.

5. Разработана и исследована модель модуля раннего выявления сверхнормативных потерь на основе математического аппарата цепей Маркова.

Практическая ценность работы. Работа выполнена в соответствии с утвержденными Президентом РФ приоритетными направлениями развития науки, технологий и техники на период до 2015 года и целевой программой «Энергоресурсоэффективность в Республике Татарстан на 2006 – 2010 годы». Основные практические результаты исследований заключаются в следующем.

1. Разработаны принципы построения и структура системы централизованного автоматизированного учета и контроля бытового потребления энергоносителей с функцией раннего выявления сверхнормативных потерь, обеспечивающая возможность интеграции локальных информационных систем, имеющих различную конфигурацию и назначение, а также выполняющая такие функции контроля, как оперативное выявление аварийных ситуаций и потерь в энергосетях, обнаружение фактов хищения энергоносителей, определение неисправностей первичных преобразователей системы и др.

2. Разработана методика моделирования и синтеза централизованной системы автоматизированного учета и контроля бытового потребления энергоносителей, позволяющая сократить время моделирования и повысить качество разработки сложных распределенных многоуровневых информационных систем в сфере ЖКХ.

3. Предложена инженерная методика оценки вероятности получения достоверных данных с учетом характеристик надежности оборудования и вероятности возникновения внештатных ситуаций (сверхнормативных потерь), позволяющая устанавливать обоснованные требования к характеристикам надежности составляющих информационно-измерительной системы ЖКХ с учетом ее особенностей.

4. Разработанный программный макет централизованной системы автоматизированного учета и контроля бытового потребления энергоносителей (ЦСАУиКБПЭ) с функцией энергосбережения на основе сетевых моделей и SKADA-технологий TRACE-MODE может использоваться для модернизации и расширения информационно-аналитического комплекса автоматизированного сбора и обработки данных о расходе энергоносителей.

Методы исследования: общая теория сложных систем (системный подход); моделирование дискретно динамических процессов модификацией математического аппарата сетей Петри – ДН-сетями; теория синтеза управляющих автоматов; теория стохастических дифференциальных систем; моделирование стохастических процессов поглощающими цепями Маркова; методы имитационного моделирования.

На защиту выносятся:

1. Концепция построения и методика синтеза трехуровневой иерархической централизованной информационно-измерительной системы автоматизированного учета и контроля бытового потребления энергоносителей по критерию минимума потерь энергоресурсов.

2. Структура автоматизированного комплекса централизованной информационно-измерительной системы учета и контроля потребления энергоносителей с функциями контроля работоспособности и анализа критических ситуаций.

3. Структурно-функциональная модель ЦСАУиКБПЭ с функцией выявления сверхнормативных потерь (энергосбережения) на основе модификации математического аппарата сетей Петри – ДН-сети.

4. Математическая модель модуля раннего выявления потерь на основе поглощающей цепи Маркова и методика оценки вероятности получения достоверных данных в системе с учетом характеристик надежности составляющих ее элементов и вероятности возникновения внештатных ситуаций (сверхнормативных потерь).

5. Программный комплекс и имитационная модель централизованной системы автоматизированного учета и контроля бытового потребления энергоносителей с функцией выявления сверхнормативных потерь (энергосбережения).

Апробация работы. Результаты работы обсуждались на 15 Международных и Всероссийских научно-технических конференциях различного уровня, в том числе, «Новые информационные технологии и менеджмент качества» (г. Москва 2009, 2006, 2003 гг.), «Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике и промышленности» (г. Ульяновск, 2006 и 2003 гг.), «Энергоресурсоэффективность и энергосбережение» (г. Казань, 2009 и 2006 гг.).

Направление и содержание диссертационного исследования поддержаны в 2005 г. стипендией Главы администрации г. Казани, в 2006 г. – дипломом Инвестиционно-венчурного фонда Республики Татарстан. Полученные в диссертации результаты послужили основой разработки и внедрения инновационной системы сбора информации и контроля работы инженерных схем и конструктивных элементов многоквартирных жилых домов, что подтверждено заключением ООО «Жилищная эксплуатационная компания» г. Волгограда от 24.07.2007 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 20 работ, в том числе две статьи в журналах «Вестник КГТУ им. А.Н.Туполева», «Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики», рекомендованных ВАК МО и Н РФ, получен патент РФ на полезную модель № 95113 от 30.09.2009 г. «Автоматизированный комплекс централизованной информационно-

измерительной системы учета и контроля потребления энергоносителей с функциями контроля работоспособности и анализа критических ситуаций».

Достоверность полученных результатов подтверждается применением адекватных математических моделей, современных методов анализа и синтеза информационно-измерительных систем, совпадением результатов аналитического исследования с результатами имитационного моделирования, а также опытом внедрения предложенных методик и рекомендаций.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Результаты исследования изложены на 134 страницах, включают 30 рисунков в основном тексте и 26 рисунков в приложениях. Библиографический список содержит 160 наименований на русском и иностранных языках.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы, определяется цель, задачи, научная новизна, практическая значимость, методы исследования, приводятся данные об апробации и внедрении результатов исследования.

В первой главе проведен анализ и оценка литературных научно-технических данных по бытовому потреблению энергоносителей с позиции снижения энергетических издержек, разработок и внедрения систем сбора жилищно-коммунальной информации, методов моделирования сложных распределенных многоуровневых информационно-измерительных систем.

Для выявления резервов сбережения энергии необходим учет и контроль поквартирного потребления энергоносителей, что позволяют выявить потери в энергосетях и конкретные пути для сбережения энергетических ресурсов. Поабонентный учет расхода энергоносителей можно рассматривать в качестве необходимой составляющей энергосберегающих мероприятий. При этом важно расширение функций системы автоматизированного учета и контроля в направлении обеспечения энергосбережения и безопасности путем своевременного распознавания и минимизации ущерба от сверхнормативных потерь.

Показано, что жилищно-коммунальная информация не охвачена целевой информационной системой с функцией энергосбережения, включающей учет и контроль различных коммунальных услуг до уровня поквартирного потребления энергоносителей. Не обнаружено единой методики проектирования централизованных систем автоматизированного учета расхода энергоносителей. Существующие в отечественной и зарубежной литературе разработки представляют собой разрозненные локальные системы, предназначенные для решения узкого круга задач и, как правило, ограничиваются автоматизацией сбора показаний счетчиков энергоносителей,

причем, каждая система строится, как самостоятельная и не предназначена для совместной работы с другими системами.

Доказана необходимость разработки на основе системного подхода единой концепции построения систем автоматизированного сбора и обработки данных о расходе энергоносителей нового поколения с функцией энергосбережения для обеспечения преемственности, беспрепятственного развития и взаимодействия разных поколений систем с целью уменьшения энергетических затрат.

В условиях системного подхода одним из основных этапов разработки и исследования сложных систем является математическое моделирование. Сложная распределенная информационно-измерительная система относится к классу дискретных динамических систем (ДДС). Доказано, что важными преимуществами при моделировании сложных распределенных информационно-измерительных систем обладает математический аппарат сетей Петри (проблемно-ориентированная модификация на моделирование дискретно-непрерывных систем). Эта модификация (ДН-сеть) наиболее приемлема, так как позволяет исследовать сетевые модели, визуализирует динамику функционирования системы, проста при программной реализации – сводится к сложению и вычитанию векторов. Вероятностные характеристики многоэтапных дискретных случайных процессов можно оценить, используя математический аппарат цепей Маркова, что необходимо для своевременного выявления внештатных ситуаций (сверхнормативных потерь) и обеспечения надежности системы.

Во второй главе раскрываются концепция и принципы построения, а также структура и роль ЦСАУиКБПЭ в структуре информационно-аналитического комплекса, обосновывается необходимость интеграции модуля раннего обнаружения сверхнормативных потерь, разрабатываются научные основы методики синтеза системы, алгоритм функционирования предлагаемого модуля и логическая схема алгоритма управления ЦСАУиКБПЭ с функцией энергосбережения.

Показано, что особенности построения информационно-аналитического комплекса (рис. 1) связаны с решением функциональных задач и особенностями схем энергоснабжения. Поскольку основной задачей комплекса является формирование информационных баз данных о поабонентном расходе энергоносителей с последующим анализом на предмет выявления сверхнормативных потерь, ЦСАУиКБПЭ служит основой комплекса.

Принципами построения ЦСАУиКБПЭ являются иерархичность, многоуровневость и сетевое моделирование. Особенность структуры исследуемой системы связана с необходимостью гибкой настройки функционального состава системы. Учтена возможность увеличения числа и рода контролируемых параметров (охранная и противопожарная сигнализации),

повышения безопасности (распознавание и предотвращение внештатных аварийных ситуаций, связанных с сетями энергоснабжения). Показано, что двухуровневая система не способна адаптироваться к наращиванию объектов.

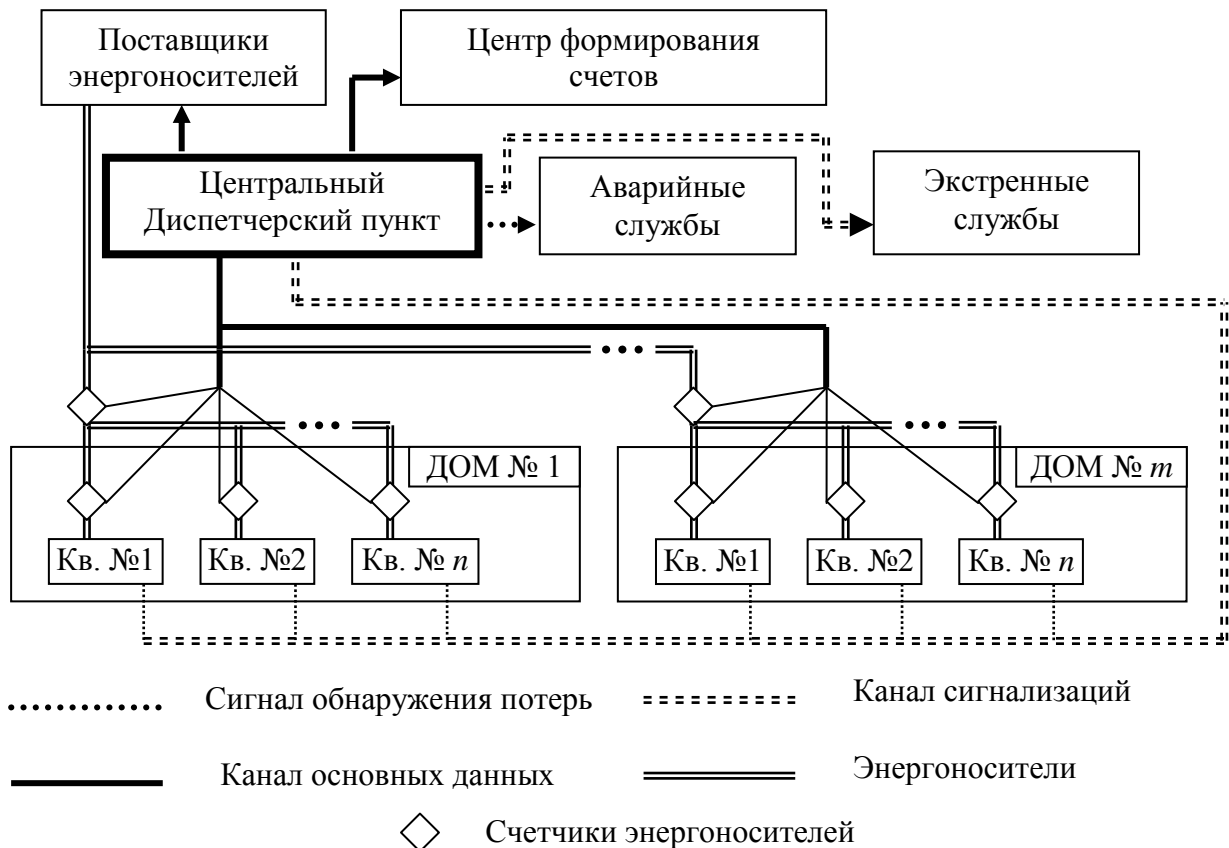


Рис. 1. Структура информационно-аналитического комплекса автоматизированного сбора и обработки данных о расходе энергоносителей.

Разработана иерархическая трехуровневая концепция построения и структура ЦСАУиКБПЭ с функцией энергосбережения. В соответствии с концепцией система строится по иерархическому принципу и структурно делится на три уровня. Это позволит разгрузить линии связи, повысить защищенность системы и осуществлять поэтапное внедрение. В качестве иерархических уровней выделены: «квартира», «дом», «центральный диспетчерский пункт». Выделены функции системы: ведение поабонентного учета расхода всех энергоносителей; ведение сбора информации со счетчиков; сбор информации с квартиры (дома) по всем энергоносителям; архивирование данных в энергонезависимой памяти; анализ получаемых данных и своевременная сигнализация о возникновении внештатных ситуаций (сверхнормативных потерь); обеспечение оперативного прохождения сигнала с датчиков пожарной и охранной сигнализаций.

Проведено распределение задач по иерархическим уровням. Исследованы структура информационных потоков и принципы формирования базы данных. Основываясь на информационном содержании, обрабатываемые системой

данные разделены на три блока: основные, служебные и дополнительные. Основные – данные, непосредственно отражающие расход энергоносителей. Источниками основных данных являются счетные механизмы счетчиков энергоносителей, установленных в квартирах, и линейных счетчиков на подводящих трубопроводах. Служебные – данные, обеспечивающие работу системы как единого информационного поля. Дополнительные – данные, обеспечивающие работу дополнительных функций в рамках системы: сигнал о срабатывании пожарной или охранной сигнализации; сигнал о срабатывании кнопки вызова экстренных служб.

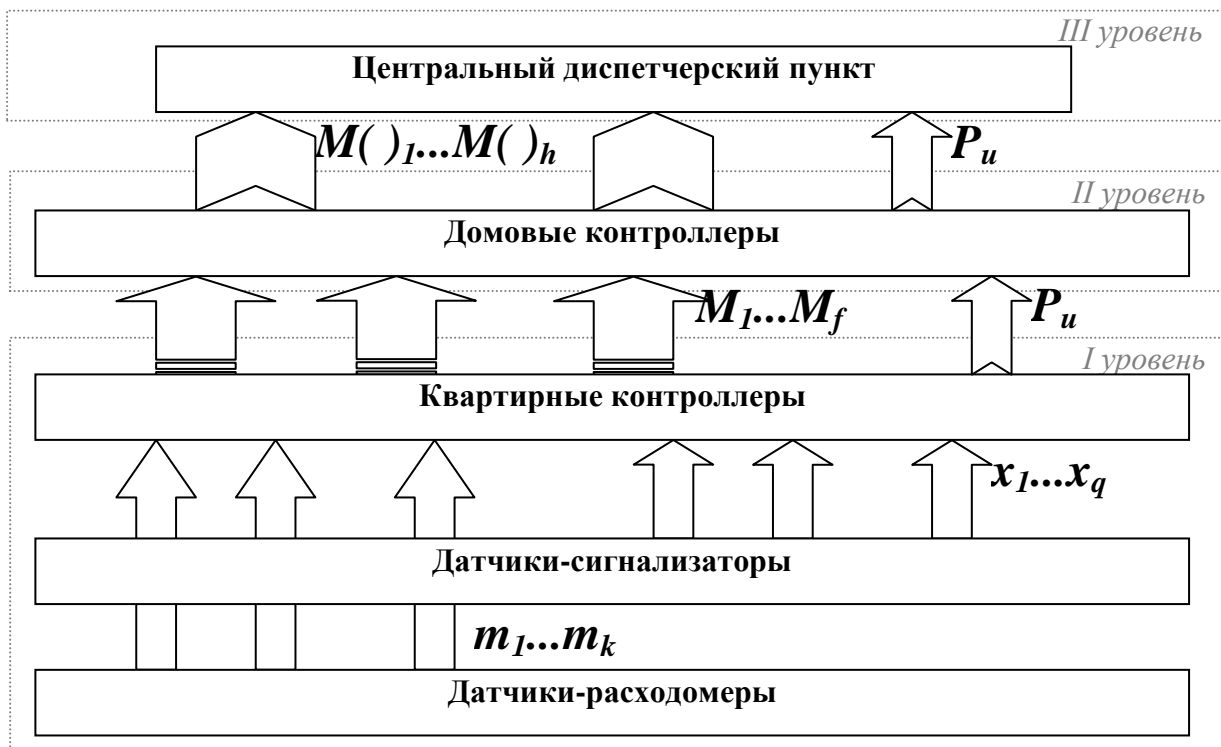


Рис. 2. Схема формирования баз данных.

Схема формирования информационного массива представлена на рис. 2, где: m_i – значение расхода или код неисправности (арифметическая величина, i – метка энергоносителя); x_j – логическая переменная, отражающая состояние датчика-сигнализатора (j – метка датчика-сигнализатора); M_f – одномерный массив, отражающий поквартирный расход энергоносителей, вида $(n; e; r; m_1; m_2;...;m_i)$ (n – идентификационный номер квартиры, e – код состояния квартирной сети, r – резервная переменная, f – число квартир в доме); P_u – одномерный массив, отражающий состояние датчиков-сигнализаторов, $(n; h; x_1;...;x_j)$ (n и h – идентификационные номера, соответственно квартиры и дома); $P()_h$ – двумерный массив, включающий идентификационные номера квартир,

коды состояний датчиков-сигнализаторов и резервную строку, $\begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \dots \\ R_{f+1} \end{pmatrix}$ (f и h –

соответственно, число квартир в доме и домов в сети, R – резервная строка); $M()_h$ – двумерный массив, включающий идентификационные номера квартир, коды состояний квартирных сетей, поквартирный расход энергоносителей и

резервную строку, $\begin{pmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \dots \\ R_{f+1} \end{pmatrix}$ (f – число квартир в доме, h – число домов в сети, R – резервная строка).

Требования надежности и проведенный анализ информационной емкости данных, собираемых системой, позволил обосновать необходимость интеграции в систему модуля раннего обнаружения сверхнормативных потерь. Даны определения распространенным внештатным ситуациям, предложен алгоритм и методика детектирования аварийных ситуаций. Разработан алгоритм работы модуля раннего выявления сверхнормативных потерь.

Разработана логическая схема алгоритма управления, обеспечивающая эффективность функционирования ЦСАУиКБПЭ с функцией раннего выявления сверхнормативных потерь (энергосбережения). Изложены ее цель и задачи. Проведено распределение задач по иерархическим уровням системы. Дальнейшее исследование логической схемы алгоритма управления предполагает комплексный анализ работоспособности предложенной структуры ЦСАУиКБПЭ с функцией энергосбережения, в соответствии с ее математической моделью.

В третьей главе получена проблемно ориентированная модификация математического аппарата сети Петри в применении к информационно-измерительным системам; разработаны методика моделирования сложной распределенной многоуровневой информационно-измерительной системы и графо-аналитическая модель ЦСАУиКБПЭ, а также математическая модель модуля раннего выявления сверхнормативных потерь, построена методика оценки вероятности получения достоверных данных в системе с учетом характеристик надежности составляющих ее элементов и вероятности возникновения внештатных ситуаций.

Проблемно ориентированная модификация аппарата сети Петри – дискретно непрерывная сеть (ДН-сеть) в применении к информационно-измерительным системам принимает вид:

$C = \langle P, T, I, O, M, L \rangle$, где $P = (p_1 p_2 \dots p_n)$ – множество позиций; $T = (t_1 t_2 \dots t_m)$ – множество переходов; $P \neq \emptyset$, $T \neq \emptyset$, $P \& T = \emptyset$; $I: T \rightarrow P$ – входная

функция: отображение из множества переходов в комплекты позиций; $O: T \rightarrow P$ – выходная функция: отображение из множества переходов в комплекты позиций; $M=(m_1, \dots, m_n)$ – маркировка сети, n -мерный вектор, значения его компонентов равны числу меток в соответствующих позициях; $L=(c_1, c_2, \dots, c_k)$ – множество цветов функционирующих в сети меток.

Переход является разрешенным, если метки разрешенного цвета присутствуют в каждой входной позиции, соединенной с переходом обычными дугами и отсутствуют в каждой позиции, соединенной с переходом ингибиторной дугой.

Далее проведена формализация основных элементов централизованной системы автоматизированного учета и контроля бытового потребления энергоносителей. Это позволило провести моделирование квартиры, оборудованной приборами учета холодной и горячей воды, газа, электроэнергии, сигнализацией (рис. 3), дома с тремя квартирами и системы в целом в виде ДН-сетей. Построенные модели наглядно демонстрируют процесс формирования информационных пакетов и их прохождение по сети и служат индикаторами реализации логической схемы алгоритма управления централизованной системой автоматизированного учета и контроля бытового потребления энергоносителей.

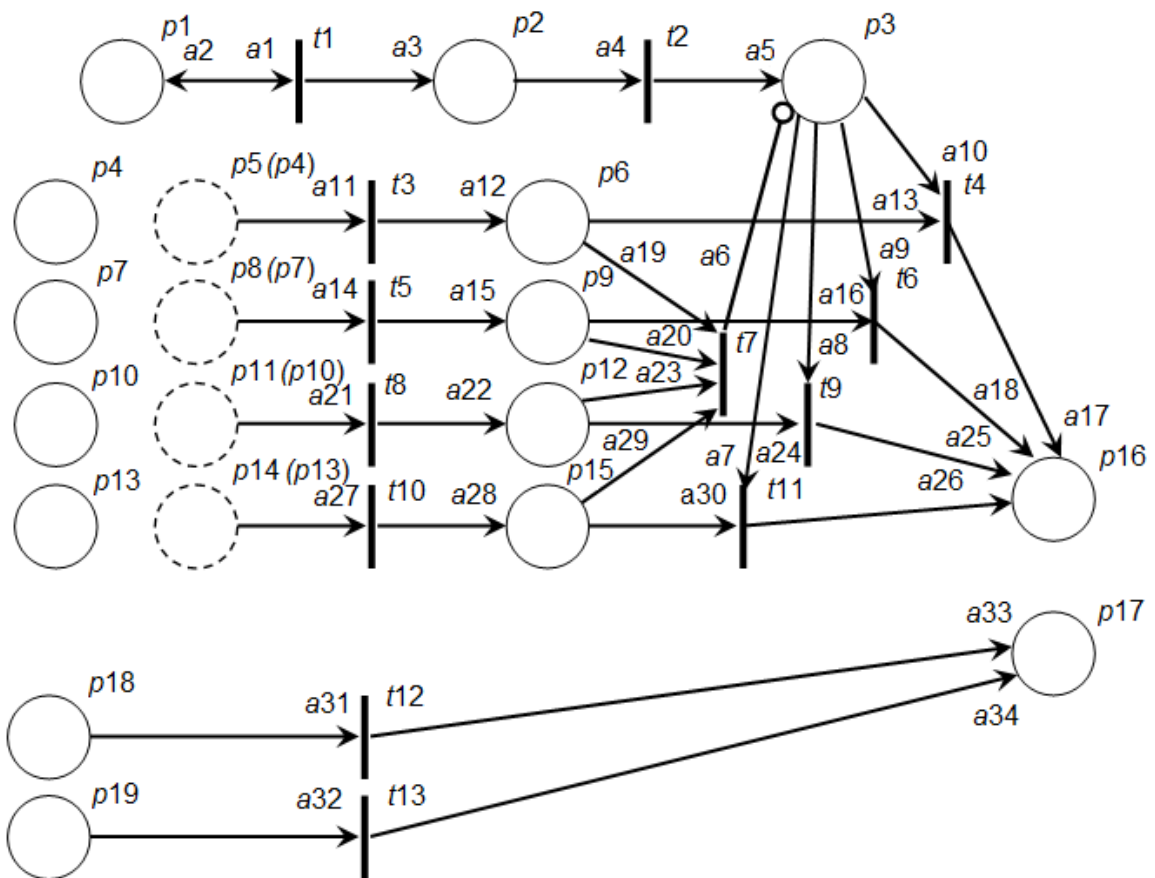


Рис. 3. Модель квартирного уровня в виде ДН-сети.

Показана эффективность применения предложенной иерархической трехуровневой концепции построения и структуры ЦСАУиКБПЭ с функцией энергосбережения, основанной на сетевом моделировании, и возможность беспрепятственного ее расширения за счет включения дополнительных элементов нижнего уровня.

Проведенный анализ взаимосвязи между вероятностью наступления внештатных ситуаций стохастического характера и передачей полноценных данных показал, что предложенный подход к моделированию модуля раннего выявления сверхнормативных потерь с помощью поглощающих сетей Маркова вполне обоснован.

Разработана методика оценки вероятности получения достоверных данных в системе с учетом характеристик надежности составляющих ее элементов и вероятности возникновения внештатных ситуаций

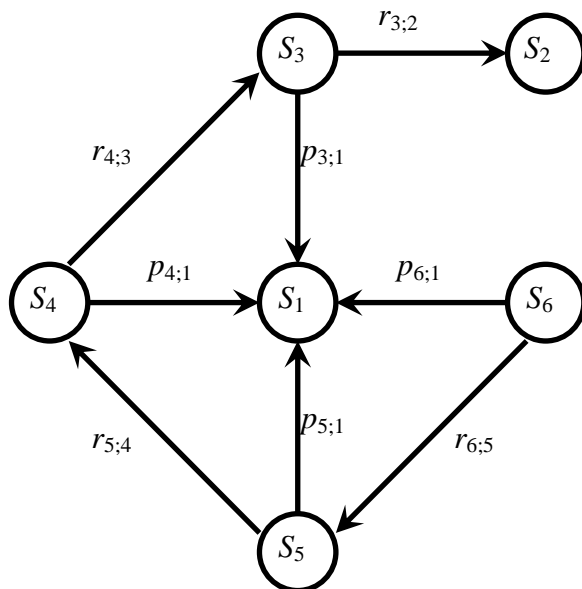


Рис. 4. Граф состояний алгоритма функционирования модуля раннего выявления потерь.

(сверхнормативных потерь). Построен граф состояний алгоритма его функционирования (рис. 4). Описание позиций: S_6 – характеризует поступление данных с прибора учета; S_5 – исследование данных на предмет выявления утечки энергоносителя; S_4 – этап комплексного анализа показаний приборов учета на предмет выявления некорректной работы; S_3 – анализ показателей качества энергоносителя на соответствие нормативу; S_2 – итоговое заключение об успешном прохождении всех этапов контроля; S_1 – выявление отклонения исследуемых данных от заданного значения.

Из определения поглощающей цепи Маркова: $S = I_{(r-s) \times (r-s)}$. Матрица

(1) переходных вероятностей P имеет каноническую форму (эргодические и невозвратные состояния объединены в группы), первые два ее состояния – поглощающие. Подматрица Q описывает поведение процесса до выхода из множества невозвратных состояний. Подматрица R отвечает переходам из невозвратных состояний в поглощающие, а подматрица S описывает процесс после достижения поглощающего множества.

$$P = \begin{array}{c|cccccc} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 \\ \hline S_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_2 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline S_3 & p_{3;1} & r_{3;2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_4 & p_{4;1} & 0 & r_{4;3} & 0 & 0 & 0 \\ S_5 & p_{5;1} & 0 & 0 & r_{5;4} & 0 & 0 \\ S_6 & p_{6;1} & 0 & 0 & 0 & r_{6;5} & 0 \end{array} \quad (1)$$

$$S = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad R = \begin{pmatrix} p_{3;1} & r_{3;2} \\ p_{4;1} & 0 \\ p_{5;1} & 0 \\ p_{6;1} & 0 \end{pmatrix} \quad Q = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ r_{4;3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r_{5;4} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r_{6;5} & 0 \end{pmatrix}$$

Фундаментальная матрица N устанавливает, сколько в среднем моментов времени процесс провел в каждом из состояний S_i (элементы строк), начавшись в одном из состояний S_i (которому и соответствует номер строки). Дисперсия этих величин, определенная в результате соответствующих вычислений, представлена в матрице N_2 .

$$N_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ r_{4;3} - r_{4;3}^2 & 0 & 0 & 0 \\ r_{4;3}r_{5;4} - r_{4;3}^2r_{5;4}^2 & r_{5;4} - r_{5;4}^2 & 0 & 0 \\ r_{4;3}r_{5;4}r_{6;5} - r_{4;3}^2r_{5;4}^2r_{6;5}^2 & r_{5;4}r_{6;5} - r_{5;4}^2r_{6;5}^2 & r_{6;5} - r_{6;5}^2 & 0 \end{pmatrix}$$

В исследуемой модели отсутствуют возвращающие дуги, значит, по матрице N можно оценить вероятность перехода на следующий этап анализа данных, находясь в текущем, установить вес конкретного значения вероятности наступления того или иного события в итоговом значении. Это позволяет, основываясь на аналитических данных, прогнозировать влияние вероятности потери и искажения данных на вероятность формирования полноценного информационного пакета. Нули в матрице N показывают, что в алгоритме функционирования модуля раннего выявления сверхнормативных потерь возможно лишь поступательное движение вперед по алгоритму. Например, из позиции S_4 можно попасть только в позиции S_3 или S_1 и никак не в S_5 (рис.4).

При помощи матрицы τ можно дать количественную оценку среднему числу смен состояний процесса до поглощения. В моделируемом процессе данная величина отразит среднее количество тактов пересчета алгоритма. Вычислена дисперсия τ_2 этого значения.

$$\begin{aligned}\tau &= N \cdot \xi = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ r_{4;3} & 1 & 0 & 0 \\ r_{4;3} \cdot r_{5;4} & r_{5;4} & 1 & 0 \\ r_{4;3} \cdot r_{5;4} \cdot r_{6;5} & r_{5;4} \cdot r_{6;5} & r_{6;5} & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \\ &= \begin{pmatrix} 1 \\ r_{4;3} + 1 \\ r_{4;3}r_{5;4} + r_{5;4} + 1 \\ r_{4;3}r_{5;4}r_{6;5} + r_{5;4}r_{6;5} + r_{6;5} + 1 \end{pmatrix} \\ \tau_2 &= (2N - I)\tau - \tau_{sq} = \begin{pmatrix} 1 \\ 3r_{4;3} + 1 \\ 5r_{4;3}r_{5;4} + 3r_{5;4} + 1 \\ 7r_{4;3}r_{5;4}r_{6;5} + 5r_{5;4}r_{6;5} + 3r_{6;5} + 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 1 \\ (r_{4;3} + 1)^2 \\ (r_{4;3}r_{5;4} + r_{5;4} + 1)^2 \\ (r_{4;3}r_{5;4}r_{6;5} + r_{5;4}r_{6;5} + r_{6;5} + 1)^2 \end{pmatrix} = \\ &= \begin{pmatrix} 0 \\ r_{4;3} - r_{4;3}^2 \\ r_{5;4} + (3r_{4;3}r_{5;4} - r_{5;4}^2) - 2r_{4;3}r_{5;4}^2 - r_{4;3}^2r_{5;4}^2 \\ r_{6;5} + 2r_{5;4}r_{6;5} + (5r_{4;3}r_{5;4}r_{6;5} - 2r_{5;4}^2r_{6;5}^2) - (r_{5;4}^2r_{6;5}^2 + 2r_{4;3}r_{5;4}r_{6;5}^2) - 2r_{4;3}r_{5;4}^2r_{6;5}^2 - r_{4;3}^2r_{5;4}^2r_{6;5}^2 \end{pmatrix}\end{aligned}$$

Матрица B , показывает вероятности окончания процесса обработки данных в том или ином поглощающем состоянии. Первый столбец матрицы B раскрывает значения вероятности перехода в состояние S_1 (выявление отклонения исследуемых данных от заданного значения) при нахождении в текущем состоянии графа (строка матрицы), а второй – значения вероятности перехода в состояние S_2 (итоговое заключение об успешном прохождении всех этапов контроля).

В ходе анализа разработанной математической модели модуля раннего

$$B = \begin{pmatrix} p_{3;1} & r_{3;2} \\ r_{4;3}p_{3;1} + p_{4;1} & r_{4;3}r_{3;2} \\ r_{4;3}r_{5;4}p_{3;1} + r_{5;4}p_{4;1} + p_{5;1} & r_{3;2}r_{4;3}r_{5;4} \\ r_{4;3}r_{5;4}r_{6;5}p_{3;1} + r_{5;4}r_{6;5}p_{4;1} + r_{6;5}p_{5;1} + p_{6;1} & r_{3;2}r_{4;3}r_{5;4}r_{6;5} \end{pmatrix}$$

выявления сверхнормативных потерь получены зависимости, позволяющие установить пороговые значения надежностных характеристик узлов системы.

Установлено, что, выбрав некоторое значение вероятности передачи достоверной информации, можно наложить ограничения на пороговые значения вероятностей наступления отдельных событий алгоритма, что, в свою очередь, накладывает ограничения на характеристики надежности аппаратной части системы. Полученные результаты позволяют дать количественную оценку влиянию характеристик надежности отдельных узлов системы на вероятность передачи достоверных данных.

Применение математического аппарата цепей Маркова позволило не только рассчитать численные значения соответствующих величин, но и вывести формулы определения дисперсии для всех групп данных. Вычисления производились с использованием программной оболочки *Mathcad 2000 Professional*, что позволило существенно сократить время расчета и пересчета искомых параметров при изменении входных данных.

Результаты исследования разработанных моделей позволили перейти к этапу программной реализации имитационной модели ЦСАУиКБПЭ с функцией энергосбережения.

В четвертой главе, основываясь на результатах диссертационного исследования, сформулированы требования к программному комплексу; разработана концепция его построения, выбраны средства SCADA-технологий TRACE-MODE и модель в виде ДН-сети; проведено экспериментальное исследование имитационной модели.

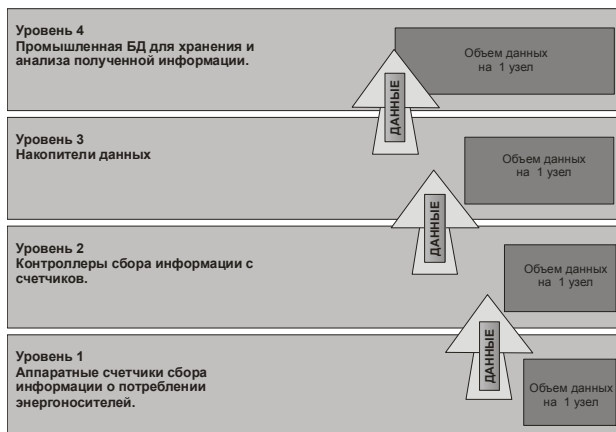


Рис. 5. Концептуальная схема программного комплекса

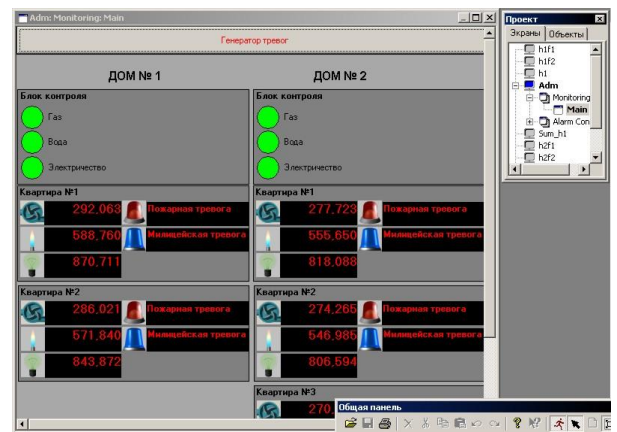


Рис. 6. Графический терминал оператора

Концептуальная (рис. 5) и технологические схемы программного комплекса включают четыре уровня. Использование в качестве счетчиков энергоносителей их моделей позволило провести экспериментальное исследование работы имитационной модели. Программный макет, во-первых, решает задачи организации поабонентного учета и контроля бытового потребления энергоносителей. Во-вторых, организует работу модуля

сигнализаций, поддерживает функцию контроля его работоспособности, выявления сверхнормативных потерь и обеспечивает незамедлительное прохождение сигнала тревоги.

В-третьих, формирует базу данных и производит необходимую их обработку (организация многотарифной схемы оплаты и выписка счетов). Благодаря использованию типовой базы возможно включение широкого спектра дополнительных функций, вплоть до автоматической рассылки жильцам выписок по расходу энергоносителей в виде *SMS* сообщений. Приведены 33 основные экранные формы программного макета, среди них графический терминал оператора (рис. 6), генератор тревог (рис. 7), расчет расхода энергоносителей (рис. 8), графические зависимости потребления энергоносителей и др.

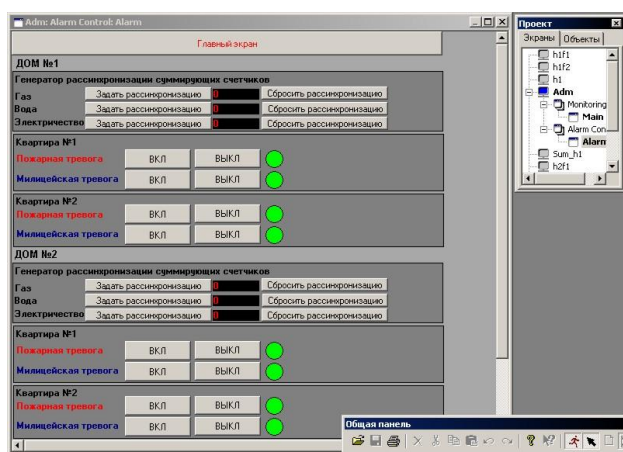


Рис. 7. Генератор тревог

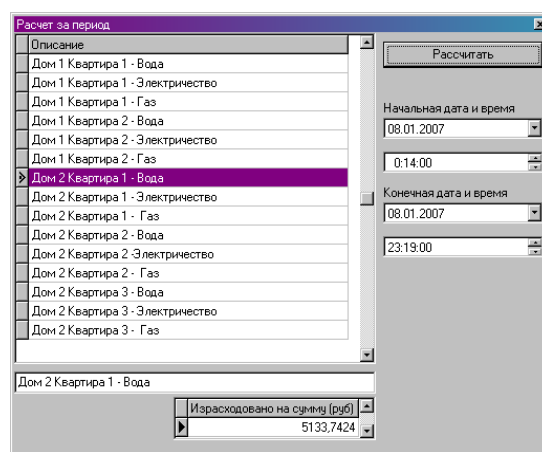


Рис. 8. Расчет расхода энергоносителей

В приложение выносятся: вычисление вероятностных характеристик показателей функционирования модуля раннего выявления сверхнормативных потерь; этапы разработки программного макета ЦСАУиКБПЭ с функцией энергосбережения; листинги программ.

В заключении обобщены основные результаты и сделаны выводы по работе.

В работе изложено научно-обоснованное решение важной научно-технической задачи – разработана концепция построения и структура ЦСАУиКБПЭ с функцией раннего выявления сверхнормативных потерь (энергосбережения), внедрение которой вносит значительный вклад в народное хозяйство как составляющая энергосберегающих мероприятий. ЦСАУиКБПЭ, являясь основной частью информационно-аналитического комплекса, обеспечивает решение задач централизованного сбора, контроля и анализа показаний счетчиков энергоносителей, раннего выявления сверхнормативных потерь, интеграции существующих систем автоматизированного учета расхода энергоносителей с целью уменьшения энергетических затрат при создании

единого информационного поля. В ее рамках могут функционировать пожарная и охранная сигнализации, имеются широкие возможности по дальнейшей модернизации.

Основные выводы

1. Анализ существующих локальных систем, предназначенных для решения узкого круга вопросов, и задач информатизации ЖКХ, позволил выявить факторы, обуславливающие необходимость разработки и внедрения информационно-аналитического комплекса централизованного сбора и обработки данных о расходе энергоносителей. Среди таких факторов базисным является поабонентный учет расхода энергоносителей (глубокая и детальная информация по единой системе учёта газа, электроэнергии, воды как важная составляющая энергосберегающих мероприятий), а также, организация новых взаимоотношений с потребителем энергоресурсов (увеличения спектра предлагаемых абоненту услуг в условиях невысокой стоимости внедрения и эксплуатации информационно-измерительной системы).

2. Анализ многовариантных распределенных информационных систем позволил обосновать перспективность использования математического аппарата теории сетей Петри, обладающего рядом важных достоинств: высокой наглядностью математической модели; динамическим отражением состояний моделируемой системы; разработанностью методов исследования, позволяющих оптимизировать процесс моделирования сложных систем.

3. Разработана методика синтеза ЦСАУиКБПЭ с функцией раннего выявления сверхнормативных потерь (энергосбережения) – основы информационно-аналитического комплекса (постановка задачи, концепция построения, математические модели системы и ее модуля раннего выявления потерь, логическая схема алгоритма управления, имитационная модель и ее экспериментальное исследование в структуре программного комплекса). Научной основой методики синтеза исследуемой системы служит представление информационного обмена как последовательно-параллельного дискретно-непрерывного процесса.

4. Предложена концепция построения и структура ЦСАУиКБПЭ в виде иерархической трехуровневой информационно-измерительной системы. Иерархическая структура системы с тремя основными уровнями (квартира, дом, район) наиболее целесообразна по критериям: а) энергосбережения (позволяет локализовать участки сверхнормативных потерь); б) организации информационных потоков (с тремя узлами сбора, форматирования и анализа первичных данных); в) поэтапного внедрения системы; г) возможности ее наращивания, расширения функций и модернизации отдельных частей без нарушения работоспособности в целом.

5. Установлено в соответствии с разработанной концепцией, что ЦСАУиКБПЭ представляет собой сложную распределенную многоуровневую

информационно-аналитическую систему. Разработана логическая схема алгоритма ее управления (ситуационный алгоритм работы), обеспечивающая эффективность функционирования ЦСАУиКБПЭ. Алгоритм логического управления включает условно четыре блока: управление на уровне квартирной сети; управление на уровне домового сети; управление системой в целом; управление системой при прохождении данных с повышенным приоритетом.

6. Обоснован выбор, расширены границы применимости разработанной методологии ДН-сетей. Разработана методология моделирования сложных распределенных информационных систем на примере ЦСАУиКБПЭ: формализация базовых элементов системы; формализация функционирования элементов ЦСАУиКБПЭ в терминах теории сетей Петри; расширение определения ДН-сетей, проблемно ориентированных на моделирование информационных систем; моделирование сложной распределенной информационной системы (ЦСАУиКБПЭ). Построена математическая модель в виде ДН-сети цепочки квартира – дом – центральный диспетчерский пункт. Модель наглядно демонстрирует статическую топологию и позволяет анализировать динамику процессов в моделируемой системе.

7. Предложено включить в состав системы модуль раннего выявления сверхнормативных потерь на основе разработанных алгоритмов обнаружения внештатных режимов функционирования частей системы из-за аварийных ситуаций или преднамеренного хищения энергоносителей. Построена математическая модель функционирования модуля раннего выявления сверхнормативных потерь как поглощающей сети Маркова. Предложена методика оценки вероятности получения достоверных данных в системе с учетом характеристик надежности ее составляющих и вероятности возникновения внештатных ситуаций. Получены зависимости, позволяющие установить пороговые значения надежностных характеристик узлов системы. Полученные количественные результаты позволяют дать оценку влияния характеристик надежности отдельных узлов системы на вероятность передачи достоверных данных.

8. Предложена адаптированная к моделированию сложных распределенных информационных систем (ЦСАУиКБПЭ с функцией энергосбережения) методика проектирования математических моделей на основе программного комплекса «САМ ДНХТС». В результате экспериментальных исследований на основе имитационной модели показано, что предложенная иерархическая трехуровневая концепция построения и структура ЦСАУиКБПЭ с функцией энергосбережения работоспособны. Разработанная структура позволяет осуществлять поэтапное внедрение системы и интегрировать сторонние системы учета расхода энергоресурсов при наличии лицензионных типовых программных и аппаратных средств. Разработанный программный макет решает задачи: формирования

информационной базы для реализации и информационно-аналитического сопровождения энергосберегающих мероприятий в городском хозяйстве; организации поабонентного учета и контроля бытового потребления энергоносителей. Организует работу модуля сигнализаций, поддерживает функцию контроля его работоспособности, раннего выявления сверхнормативных потерь (энергосбережения) и обеспечивает незамедлительное прохождение сигнала тревоги. Формирует базу данных и производит необходимую их обработку (организация многотарифной схемы оплаты и выписка счетов). Благодаря применению типовых программных средств, возможно включение широкого списка дополнительных функций, вплоть до автоматической рассылки жильцам выписок по расходу энергоносителей в виде *SMS* сообщений.

Основное содержание исследования опубликовано в следующих работах:
Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Гильманшин, И.Р. Энергосбережение в жилищно-коммунальном хозяйстве: построение комплекса централизованной автоматизированной системы сбора, контроля и анализа бытового потребления энергоносителей / И.Р. Гильманшин, А.В.Ференец // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2009. № 9–10. – С. 82–88.

2. Гильманшин, И.Р. Автоматизированный учет потребления энергоресурсов как условие эффективного функционирования системы ЖКХ / И.Р. Гильманшин, А.В.Ференец // Вестник КГТУ им. А. Н. Туполева. 2007. № 3. – С. 18–20.

Патенты РФ

3. Патент РФ № 95113 на полезную модель. Автоматизированный комплекс централизованной информационно-измерительной системы учета и контроля потребления энергоносителей с функциями контроля работоспособности и анализа критических ситуаций / И.Р. Гильманшин, А.В. Ференец. – Опул.: 10.06.2010. Бюл. № 16.

Материалы всероссийских и международных симпозиумов, конференций

4. Гильманшин, И.Р. Имитационное моделирование как аппарат для исследования энергосбережения в городском хозяйстве /И.Р. Гильманшин, Ю.И. Азимов // Энергоресурсоэффективность и энергосбережение: сборник докладов X Международного симпозиума, Казань, 1–3 декабря 2009 г. Казань: Центр инновационных технологий, 2009. Ч. 1. – С. 112 – 118.

5. Гильманшин, И.Р. Информационно-аналитический комплекс автоматизированного сбора и обработки данных о бытовом расходе энергоносителей / И.Р. Гильманшин, А.В.Ференец // Новые информационные технологии и менеджмент качества: международный форум, Москва – Египет, Шарм-эль-Шейх, 28 марта – 4 апреля 2009 г. М.: Фонд «Качество», 2009. – С. 63 – 66.

6. Гильманшин, И.Р. Математическая модель модуля раннего выявления потерь системы контроля потребления энергоносителей // IV Тинчуринские

чтения: материалы международной научной конференции, Казань, 22–24 апреля 2009 г. Казань: КГЭУ, 2009. Т.1. – С. 66–68.

7. Гильманшин, И.Р. Моделирование системы автоматизированного учета и контроля бытового потребления энергоносителей / И.Р. Гильманшин, Д.И. Басырова // II Тинчуринские чтения: материалы международной научной конференции, Казань, 26–27 апреля 2007 г. Казань: КГЭУ, 2007. Т. 2. – С. 102–103.

8. Гильманшин, И.Р. Автоматизированная система учета и контроля бытового потребления энергоносителей – необходимое условие энергосбережения в системе ЖКХ / И.Р. Гильманшин, С.В. Смирнова, А.В.Ференец // Энергоресурсоэффективность и энергосбережение в Республике Татарстан: сборник докладов VII Международного симпозиума, Казань, 5–7 декабря 2006 г. Казань: Центр инновационных технологий, 2006. – С. 348–355.

9. Гильманшин, И.Р. Распределение информационных потоков в системе учета и контроля бытового потребления энергоносителей // Новые информационные технологии: тезисы докладов XIV Международной школы-семинара. М.: МГИЭМ, 2006. – С. 433.

10. Гильманшин, И.Р. Счетчики бытового потребления воды / И.Р. Гильманшин, Р.В. Сергеев, Д.А. Скворцов // XII Туполевские чтения: материалы международной научной конференции, Казань, 10–11 нояб. 2004 г. Казань: КГТУ им. А.Н.Туполева, 2004. Т. 2. – С. 161–162.

11. Гильманшин, И.Р. Применение современных информационных технологий для решения задачи учета и контроля бытового потребления энергоносителей // Новые информационные технологии: тезисы докладов XI международной школы-семинара. М.: МГИЭМ, 2003. Т. 1. – С. 590–591.

12. Гильманшин, И.Р. Микропроцессорные средства информационной квартирной сети // XI Туполевские чтения: тезисы докладов всероссийской с международным участием научной конференции, Казань, 8–10 окт. 2003 г. Казань: КГТУ им. А. Н. Туполева, 2003. – С. 72.

13. Гильманшин, И.Р. Квартирная информационная сеть для учета и контроля потребления энергоносителей // X Туполевские чтения: тезисы докладов всероссийской с международным участием научной конференции, Казань, 22–24 окт. 2002 г. Казань: КГТУ им. А. Н. Туполева, 2002. – С. 165.

14. Гильманшин, И.Р. Применение модифицированных сетей Петри для моделирования системы АУиКБПЭ / И.Р. Гильманшин, Д.И. Басырова // Информационные технологии в науке, образовании и производстве: материалы Всероссийской научной конференции, Казань, 30–31 мая 2007 г. Казань: КГТУ, 2007. – С. 233–236.

15. Гильманшин, И.Р. Разработка имитационной модели системы автоматизированного учета и контроля потребления энергоносителей / И.Р. Гильманшин, Д.И. Басырова, Р.Ф. Маннанов // Электромеханические и внутрикамерные процессы в энергетических установках, струйная акустика и диагностика, приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий: материалы XIX Всероссийской межвузовской научно-технической конференции, Казань, 14–16 мая 2007 г. Казань: Отечество, 2007. Ч. 2. – С. 216–218.

16. Гильманшин, И.Р. Система учета и контроля бытового потребления энергоносителей / И.Р. Гильманшин, М.В. Точилкин // Всероссийский

конкурсный отбор по приоритетным направлениям науки и высоких технологий: каталог тезисов проектов научно-технических коллективов молодых ученых и аспирантов. М.: РГУИТП, 2006. – С. 28–30.

17. Гильманшин, И.Р. Автоматизированная система учета и контроля бытового потребления энергоносителей в решении задач энергосбережения / И.Р. Гильманшин, А.В.Ференец // Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике, промышленности: материалы V Российской научно-технической конференции, Ульяновск, 20–21 апр. 2006 г. Ульяновск: УлГТУ, 2006. – С. 198–201.

18. Гильманшин, И.Р. Автоматизированная система поабонентского учета и контроля потребления энергоносителей // Актуальные проблемы городского хозяйства и социальной сферы города: материалы научно-практической конференции, Казань, 15–16 дек. 2005 г. Казань: Отечество, 2005 г. – С. 18–19.

19. Ференец, А.В. Информационная квартирная сеть как базовое звено автоматизированной системы учета и контроля бытового потребления энергоносителей / А.В. Ференец, В.Л. Урманчеев, Р.Р. Рахматуллин, И.Р. Гильманшин // Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике, промышленности: материалы IV Российской научно-технической конференции, Ульяновск, 19–20 апр. 2003 г. Ульяновск: УлГТУ, 2003. – С. 117–120.

20. Субботин, Д.Л. Информатизация жилищно-коммунального хозяйства как одно из условий его реформирования / Д.Л. Субботин, И.Р. Гильманшин, А.В. Ференец // Инновации в науке, технике, образовании и социальной сфере: материалы Всероссийской научно-практической конференции, Казань, 31 окт. – 1 нояб. 2003 г. Казань: КГТУ, 2003. – С.103.

Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Печ. л. 1,5. Усл. печ. л. 1,39. Уч.-изд.л. 1,4.
Тираж 110. Заказ Н 211

Типография Издательства Казанского государственного
технического университета им. А.Н. Туполева
420111, Казань, К. Маркса, 10